

流出入流速の step length に及ぼす影響について

京都大学工学部 正 員 中川 博次 京都大学工学部 正 員 村上 正吾
 京都大学工学部 正 員 清水 義彦 東電設計 正 員 〇石橋 勝彦

1. まえがき stochastic modelにおいては、step length が砂粒子の流送過程を代表しており、不浸透性河床での特性はこれまでも検討されているものの、実河川の河床が透水性材料より構成されていることに鑑み、浸透流場における流砂モデルの構成のため、本研究では、step length に及ぼす流出入流速の効果について実験的・理論的に考察する。

2. 流出入流速の流送過程に及ぼす効果 1つの step lengthは、河床面上に不規則に配列された突起砂粒との確率的な衝突と、その間の流体力による確定論的な運動との繰り返しのことによって構成されている。決定論的な運動を示す過程中の平均速度を u_p とし、1stepの moving period Δt 内の平均衝突回数を N_s とおくと、平均step length Λ は、 $\Lambda = N_s \cdot u_p \cdot \Delta t \cdots (1)$ と表される。ここで、 N_s は床面特性が水理量に依存し、一方、 u_p も運動形式を特定すると水理量の関数として表示されることから、式(1)は無次元化して $\lambda = \Lambda / d = \Psi_\Lambda(\tau_*) \cdot \phi_p(\tau_*) \cdots (2)$ ここで、 $\Psi_\Lambda = N_s \cdot \Delta t \cdot u_* / d$, $\phi_p = u_p / u_*$, u_* : 摩擦速度である。ところで、中川¹⁾らは、不浸透性平坦河床上の平均 step length を、pick-up rate p_{s+n} 及び平衡流砂量 q_{be+n} より $\lambda = (A_2 / A_3) \cdot q_{be+n} / p_{s+n} \cdots (3)$ として評価する方法を提案している。不浸透性河床での q_{be+n} 及び p_{s+n} はそれぞれ $q_{be+n} = A_0 \cdot \tau_*^n \cdot (\tau_* - \tau_{*cn})^s \cdots (4)$, $p_{s+n} = F_0 \cdot \tau_*^n \cdot (1 - 0.035 / \tau_*^n)^3 \cdots (5)$ で与えられ、式(3)に代入することより、無次元平均step length は τ_* の関数として与えられる。一方、 ϕ_p は流速分布形と結びつけられ、砂粒子の運動が滑動形式であると仮定すると、式(6)で与えられる。transpiration がない場合、 Ψ_Λ は $\Psi_\Lambda = \lambda_n / \phi_{pn}$ として与えられることより、 Ψ_Λ は流出入流速がある場合も河床特性は、底面せん断応力によってほぼ決まり、水理量の関数として関数形自体に変化はないと考えられる。一方、 ϕ_p は流出入流速の存在が流速分布形に及ぼす効果を考慮した式(7)のような対数二乗則によって評価される。流出入流速が ϕ_p に及ぼす効果を図-1に示した。また、流砂量公式として、Swiss 公式($A_0=8.0$; $n=0$; $S=1.5$)を用いて流出入流速が底面せん断応力の変化を生み結果的に Ψ_Λ に及ぼす効果を図-2に示した。

3. 実験方法 実験は図-3に示される長さ8m、幅33cmの可変勾配水路中央部に、長さ150cmの移動床部を設け、移動床部全域に流出入流速が出現するように工夫した。なお、使用砂は、比重 $\sigma / \rho = 2.65$, 平均粒径 $d = 0.199\text{cm}$ のほぼ一様な砂でなる。移動床底部のバルブを調節して、表-1に示す流出入流速を与え、水路側方よりアクリル製側壁に鋼尺をあて、目視によってstep lengthを測定するとともに、その分布性状を調べた。

4. 実験結果 まず、流出入流速の平均step length に及ぼす影響を、式(2)に基づいて

H.Nkagawa S.Murakami Y.Simizu K.Ishibashi

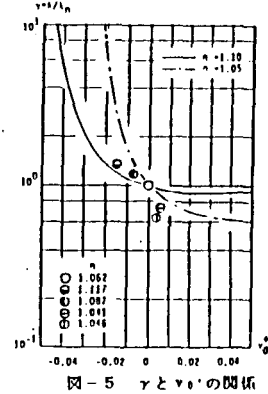
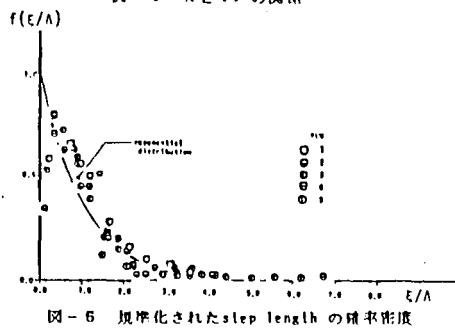
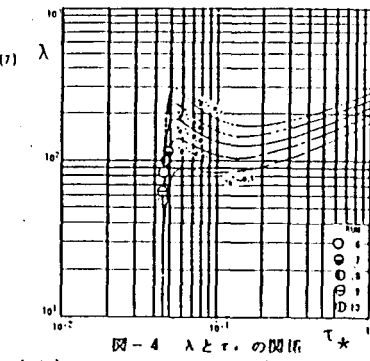
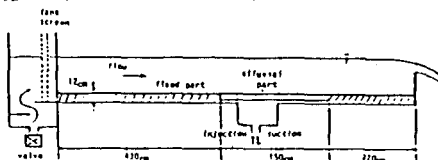
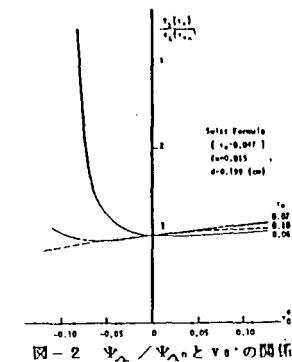
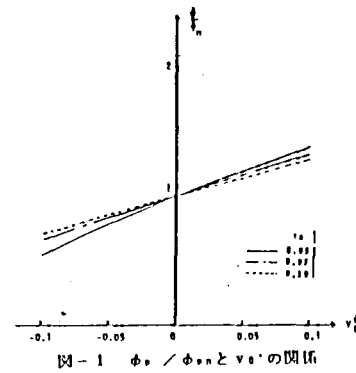
図-4に示した。ところで、流出入流速がある場合とない場合の平均step length の比を γ とすると、 $\gamma = \lambda / \lambda_n = \Psi_{\Lambda}(\tau^*) / \Psi_{\Lambda}(\tau^* \cdot n) \cdot \phi_p / \phi_{pn} \dots (8)$ のように表わされる。これより、得られる理論曲線と実験値を図-5に示した。なお、計算においては、流砂量公式として Swiss公式を用いた。図には、今回の実験のように限界掃流力付近で変化させた場合、吸い込みで促進、吹き出しで抑制という効果が明らかにされている。一方、図-6は、平均値を用いて規準化されたstep length の分布を示したもので、図中には指数分布の密度関数も併示されており、図から、流出入流速の効果によって平均値は異なっても規準化された統計的な構造は不変であり、おおむね指数分布に従うものと考えられる。

5. あとがき一様砂の step length に及ぼす transpirationについて検討したが、今後は、混合砂を対象とした場合の step length の特性についての検討を行っていきたいと考えている。

(参考文献) 1) 中川博次、辻本哲郎、富田邦裕：河床波スペクトルの発達に関する研究、京都市防災研究所年報、第25号B-2, pp451-471, 1982

$$\frac{v_d}{v_n} = \frac{v_k \frac{2\lambda}{C_D \Lambda^2} (a/n-1) g d \frac{1}{v_n}}{\dots} \dots (6)$$

$$U^* \frac{U}{U_n} = \frac{v_0}{4 \cdot v_n} \left(\ln \frac{z}{z_0} \right)^2 + \frac{1}{2} \cdot \frac{v_0}{4 \cdot v_n} \left(\ln \frac{z}{z_0} + 1 \right) \ln \frac{z}{z_0} + \left(\frac{v_0}{4 \cdot v_n} + 1 \right) \ln \frac{z}{z_0} \dots (7)$$



Run	l_b	h	U	Fr	Re	v_0	v_n	v_0'
		[cm]	[cm/s]			[cm/s]	[cm/s]	
1	1/300	3.85	39.2	0.638	15092	0.0	3.343	0.0
2	1/300	3.41	39.9	0.591	13406	-0.068	3.633	-0.0289
3	1/300	3.37	39.8	0.672	14709	-0.068	3.602	-0.0188
4	1/300	3.82	37.0	0.605	14131	0.045	3.510	0.0126
5	1/300	3.75	37.0	0.824	14175	0.047	3.512	0.0170
6	1/300	4.37	44.8	0.878	20160	0.0	3.824	0.0
7	1/300	4.79	40.2	0.567	19256	-0.111	3.932	-0.0282
8	1/300	4.50	45.0	0.477	20750	-0.057	3.878	-0.0132
9	1/300	4.41	42.8	0.638	14119	0.045	3.795	0.0119
10	1/300	4.48	42.3	0.628	13633	0.034	3.804	0.0097
11	1/300	4.99	45.5	0.550	21804	0.0	4.178	0.0
12	1/300	5.35	44.3	0.543	20789	-0.053	4.012	-0.0116
13	1/300	7.08	45.1	0.543	21001	-0.027	4.795	-0.0056
14	1/300	7.03	45.4	0.547	21916	0.049	4.746	0.0107
15	1/300	4.39	44.7	0.540	21243	0.034	4.758	0.0071

表-1 実験条件表